

煤灰电杆和煤渣电杆

电力建设科学技术研究所煤灰利用组著

水利电力出版社

內 容 提 要

本書主要敘述煤灰電杆和煤渣電杆試制成功的意義，煤灰為什麼能做水泥，配合比的設計，試制煤灰電杆和煤渣電杆的工藝過程等。

本書不僅適用於輸電線路的設計和施工人員，對於製造水泥和需用水泥的單位也有很大參考價值。

煤灰電杆和煤渣電杆

電力建設科學技術研究所煤灰利用組著

*

1514D425

水利電力出版社出版（北京西郊科學館二里路）

北京市書刊出版業營業許可證出字第100號

水利電力出版社印刷廠排印 新華書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 1/2印張 * 13千字

1958年10月北京第1版

1958年10月北京第1次印刷(0001—4,100冊)

統一書號：15143·1197 定價(第9類)0.07元

一、煤灰电桿及煤渣电桿試制成功的意义

在总路綫的光輝照耀下，及整風胜利思想解放的基础上，水利电力部电力建設总局研究所和北京修造厂配合协作試制成功了一种煤灰少熟料水泥鋼筋混凝土电桿(簡称煤灰电桿)的新产品，并在繼續进行煤渣鋼筋混凝土电桿(簡称煤渣电桿)的試驗研究工作。根据煤渣电桿第一次試制試驗結果来看，能进一步在配合比及制造工艺上作些改进，試制成功也是肯定了的事情。因为不管煤灰少熟料水泥混凝土也好，或煤渣混凝土也好，都已不是什么新的技术。煤灰少熟料水泥在电力建設中已經采用过，但还不够普遍；对于煤渣混凝土，上海市建筑工程局也曾有試驗資料的介紹，并推荐使用。所以用煤灰或者用煤渣制作电桿至多只能說是大胆的嘗試，不是在理論上有所发展，但这种嘗試可以說是成功的。

这两种电桿的試制成功說明了什么問題呢？

第一，它說明了節約水泥的潛力是很大的，而我們沒有付予应有的重視。輸电綫路中用的鋼筋混凝土电桿，都是用400号普通水泥或400号矿渣水泥来制作的。而且每一公尺³混凝土所耗用的水泥量接近400公斤。这种浪費現象長期以来很少糾正，从来就沒有想到怎样在里面摻用一些外加的混合材料，以节省些建設中最迫切需要的水泥。并且还往往將多用水泥看成是保證質量的重要措施。的确，以前电桿混凝土的質量事故出的比較多，如蜂窩、麻点、裂紋、坍石、露筋，厚薄不均等。为了处理事故，鑑定質量，以及爭取有效措施去消灭事故，設計、制造、施工和运行各方面也曾作出不少努力。有的認為电桿混凝土事故是有周期性的，有的認為电桿混凝土的工作是

“粗活細作”。总而言之，認為保證电杆混凝土質量是件不容易的事，因而在电杆制作中怎样少用水泥就錯覺地被人所忽略了。不可否認，混凝土質量是应当符合要求，起到它应有的作用，但這些也絕不是只有用好的水泥及多用水泥才能达到，如原料的選擇，配合比的設計，水灰比的控制，以及妥善的施工工艺等都应是相当主要的环节。用煤灰少熟料水泥开始制杆的时候，思想上存观望态度的人是有一定数量的，这种思想在第一批試品制成后，召开的車間座談会上已暴露了出来，有的发言說：“在制杆前是有怀疑的，不相信煤灰也能做出什么电杆，看到产品質地坚硬，內外光滑后，才觉得原来的想法是少见多怪”。最后大家信心百倍，說这种杆的質量沒有問題，生产也不会有困难，而且說应当赶快生产，是节约水泥的好办法。这将会启发我們，去重視挖掘更多的地方性代用材料的工作。什么地方有什么，就設法用什么来代替部分水泥。

第二，它說明了少熟料水泥的应用不应当只限于混凝土电杆，而应当有它广闊的前途。珍惜这一措施，推广应用到其他工业建設中去是很必要的。輸电綫路的混凝土电杆从結構上說是特殊結構，性質也很重要，在世界上还是一項正在发展着的新技术，新中国的这项新技术在世界上是一馬領先的。煤灰少熟料水泥的使用，正是电杆技术的又一次革新，也显示了我們土洋結合，独創国际水平的风格。电杆混凝土的标号是离心式要求300号，普通搗制要求200号。工业建筑中不少是200号以下的混凝土，那么采用土办法的条件就更容易一些，多創几个国际水平一定可以办得到的。特別对預制構件就更方便；即令構件要求較高的强度指标，在蒸汽养护的处理下是完全可能达到的。

第三，煤灰电杆的試制成功，也說明了社会主义国家对待

水泥的态度是既要开源也要节流，是双管齐下的方针。也就是说，为了尽快的改变国家面貌及改善人民生活，就要一方面生产更多的水泥，一方面节约更多的水泥。这也是我们和资本主义国家本质上不同的地方。资本主义国家永远是为着少数人着想。资本家们对待生产水泥和我们抱着不同的态度，它们使用水泥方面也是受到一定的局限性。怎样可以多赚钱，于是乎就盲目生产，追求高标号。这样使它们可以标新立异，投机取巧，宣传竞争，赢得更高额利润。尽管如此，它们对水泥的利用率是很低的。在第二次世界大战以前，美国每年水泥的使用量只是生产量的50%，英国只是80%，法国只是40%。最近的情况虽没有数字可考，但社会制度已确定了它们这种命运，不景气的情况肯定还是依然如故的。反过来看我国和苏联则是另一种现象，尽管水泥工业一日千里的发展，总是赶不上国民经济建设的需要。根据苏联的经验，水泥需要量的增长速度要比工业生产总值的增长速度大约快一倍。我国目前工农业并举的跃进形势，急需水泥这一点上是难以形容的。同时解决的办法也是史无前例的。在农村中遍地开花地生产着无熟料水泥，为兴修水利运动提供了物质保证。这是体现了大中小结合的伟大效果。在工业战线上节约水泥的办法也层出不穷，煤灰煤渣的被利用就是办法之一。这里还须解决一个思想问题：譬如说输电线路工程上每年需用水泥不过几万吨，节约有没有大油水的问题，答复应当是有的。煤灰电杆较原来用的电杆节约水泥65.8%，用同量的水泥可修建三倍长的线路难道还不是好事情吗？譬如又说输电线路性质重要，关系着工业动能的供应，需要谨慎，这完全是对的。在线路工程中有木杆，铁杆，钢筋混凝土杆，前两种的寿命虽然都比不上后一种的长，但人们却很少担心到杆子坏了怎么办的問題，唯对混凝土杆则忧心重重，

生怕它不是万年長青，原因是我們对它还不够熟悉。因此，建議选一条綫路来采用一下，那怕这条綫路是比較小的和可以因陋就簡的乡村綫路，也將會給我們更多的收获。

二、煤灰为什么能做成水泥

为了比較水泥及煤灰的性能，要对照的談一下水泥的生产，因为这样对熟料及无熟料的区别及其凝結硬化的規律就容易有一个概念。

水泥是高温下的产物，通常我們称它为熟料。它的生产过程簡單說是这样：將水泥原料，石灰石及粘土按照一定比例（通常石灰石及粘土是3:1）分別搗碎，均匀混合送进旋轉窖中进行煨燒而成的。石灰石的成分是碳酸鈣(CaCO_3)，粘土的成分是二氧化矽(SiO_2)，三氧化二鋁(Al_2O_3)，及氧化鉄(Fe_2O_3)等。現代化制造水泥的工厂是由一系列的車間組成的，其中燒成車間是最主要的車間，也就是裝着旋轉窖的車間。石灰石及粘土的混合料(生料)从窖的一端送入，同时强有力的压縮噴射器將煤粉从另一端送到窖里去，这样使窖里有着不同的温度。生料进口的温度低，出口的温度高，根据温度的不同，原料在不同的地方不断起着物理的及化学的变化，因之窖的全部也根据这种变化而分为四个地带。生料在 100°C 或更高的温度下一下子就將水分蒸发掉了，这一地段叫做預热带。到 $400 \sim 500^\circ\text{C}$ 时，所有的有机物都已燒尽，同时粘土中的結晶水分解，粘土变成了高岭石；到了 900°C 时，石灰石分解为氧化鈣(CaO)和二氧化碳(CO_2)，高岭石也开始分解为 Al_2O_3 ， SiO_2 及 Fe_2O_3 ，这就是分解带。 $1000 \sim 1200^\circ\text{C}$ 的地方，石灰石都已分解为石灰，并且石灰开始和 Al_2O_3 ， SiO_2 ， Fe_2O_3 等化合

起来，这一帶叫做放热反映帶，因为这一段里的反应是放热的。最后到达 1450°C 的白熱帶，这是决定水泥質量好坏最重要的阶段，在这里原料已燒成融熔結块的状态，从这里出来的物料就称为水泥的“熟料”。熟料在显微镜下，可以看出其中最基本的矿物成分是矽酸三鈣 ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)，矽酸二鈣 ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)，鋁酸三鈣 ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) 及鉄鋁酸四鈣 ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$)。这四种成分各有特性，我們最欢迎的是矽酸三鈣，它是水泥的骨干，因为它具有强度高及結硬快的优良性能。

农村中用的燒粘土水泥，和石灰煤灰水泥，都叫做无熟料水泥，因为它们是在較低的温度 ($800\sim 900^{\circ}\text{C}$) 下生产的产物。成分中沒有形成上面所說的四种矿物成分。粉煤在鍋炉中强烈地燃燒，虽然也达到 1300°C 以上的温度，但它並沒有和石灰石同时在这样一个高温下煨燒，以致沒有生成矽酸鹽的机会。

少熟料的水泥的得名由于在无熟料水泥中加进去一些熟料水泥，假設制成少熟料水泥的成分是以煤灰为主，就叫它煤灰少熟料水泥；假設是以燒粘土为主的就叫它燒粘土少熟料水泥，如以磚粉为主的，就叫它磚粉少熟料水泥。因为可利用作为膠結材料的物質是很多的，这样用建筑材料的名称去称呼它們是比較清楚易懂。

我們要用少熟料的原因，正因为无熟料水泥还存在一些缺点，就是强度較底、凝結較慢，摻用一些熟料正是改善这种性能。其它如抗大气性較差，干縮大，不耐冻等缺点，在摻用一部分水泥后，也能得到一定程度的改善。

灰渣混凝土是不用水泥，不用沙子，也不用石子的混凝土。它的原料是細的煤灰，顆粒的煤渣，石灰和石膏，加水拌和攪拌成型后，經過 100°C 的蒸汽进行养生而制成的。根据上海市建筑工程局的資料証明它能制成250号的混凝土，所以我

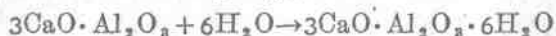
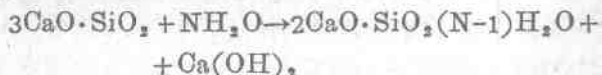
們想进行一下电杆的試制，这种混凝土的容重輕，每公尺³1800公斤，用到电杆上去，是便利了运输，也便利了施工，特别是在山区，更有这项要求。由于自重的減輕对裂紋的产生也比较容易避免，因之我們在試制前計劃將原来5公分厚的杆壁，改为4公分，这样杆重將會減輕30%，而力量并不減弱，这是因为管壁的減薄，相应的使鋼筋也稍向外移的緣故。所以这项电杆也可称为輕質薄壁电杆。

灰渣混凝土是苏醒混凝土的一种。簡單的意义，就是在拌制混凝土时用某种促凝剂来刺激原料中的潛在活性，我們用的煤灰少熟料及灰渣混凝土都是根据这项基本原理的。煤灰，煤渣都是被“苏醒”的材料，石灰及石膏則为促凝剂。根据苏联科学技术博士Г·Н·西維尔佐夫的建議为5~10%石灰；2%水泥（或石膏）+5~10%石灰；2%水泥+2%石灰+10~20%高炉粒狀矿渣，都可做为促凝剂，我們采用的促凝剂为5%水泥+7%石灰+3%石膏。

水泥是如何結硬的呢？它的結硬大体上可以分成两个步驟：第一步是从可流动的状态变成不能流动的状态，这叫做凝結；第二步是逐渐增加强度，終于变成和石头一样坚固的东西，这叫做硬化。水泥和水拌合后，一般在45分鐘至1小时内就需要完成初凝的作用。全部硬化的時間却需很長，习惯上采用28天。28天是說明它已达到了相当的强度，而在28天以后虽然强度还在不断增長，但是进展就比较慢了。这是因为在水泥和水拌合后，水泥不会立刻都和水起到水化作用，它們拌合的第一天，水泥顆粒外表跟水泥作用的部分只有水泥的1.2%，到28天起作用的部分也只有水泥重量的12%。所以在正常的湿温条件下，混凝土内部的水分还要不断地和水泥顆粒沒有化合的部分起作用，这就是28天后强度还不断增加，繼續硬化的原

因。

水泥凝結和硬化的作用，是由于水泥中的矿物成分矽酸三鈣，矽酸二鈣，及鋁酸三鈣等，遇水起到水解及水化作用，組成了新的化合物。生成了含水矽酸二鈣 ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot (\text{N}-1)\text{H}_2\text{O}$)、含水鋁酸三鈣 ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 和氫氧化鈣 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)。含水矽酸鈣几乎是不溶解于水中的、膠質状态的东西。在水泥顆粒外圍結成了膠体层，把水泥顆粒包圍起来，使它不能立刻全部跟水化合。含水鋁酸三鈣和氫氧化鈣是溶解于水的，这样就变成了水泥漿。水泥漿里的水分还不断透过水泥顆粒外面的膠質层，跟里面沒有水化的部分再发生化学作用，又一次的生成含水矽酸二鈣、含水矽酸三鈣和氫氧化鈣，这样水分一层又一层的滲入水泥顆粒，連續地发生化学反应，更多的可溶性的含水鋁酸三鈣和氫氧化鈣陸續生成，以致水泥漿越来越濃，而終于达到飽和状态。同时水泥顆粒的表面膠質层也逐渐加厚，开始失去塑性，变成了坚硬的石头。这是从鋁酸三鈣由膠質状态轉为稳定的結晶状态。用方程式来表达这种反应是这样的：



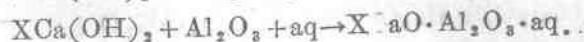
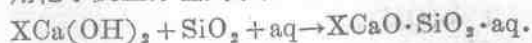
煤灰遇到石灰为什么也会結硬？首先讓我們看一下成分分析，虽然它的成分会由于煤层变化及燃燒、負荷等情况的不同而有所出入，但基本上并不妨碍使用它，因为灰是煤中以粘土为主要成分的雜質經過高温而成的产物。石景山电厂的煤灰成分分析是：

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	其 他	分析的来源
49.46%	29.04	4.48	3.74	1.78	0.27	5.20	北京市建工局
47.11	35.48	6.99	4.01	0.76	0.40	5.04	原电力部 北京基建局
49.88	37.37	5.61	3.96	0.45	0.67	2.4	水利电力部
49.7	34.66	4.32	6.76	1.14	0.87		水利电力部 电力建设总 局研究所

其中 SiO₂ 及 Al₂O₃ 佔全部成分的 80 % 以上，其他电站灰渣也与这相去不远，这些材料是具有活性的酸性氧化物

$\left(\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} < 1 \right)$ 。这就是說它們有与碱性氧化物相結合，

構成新物質的化学能。石灰的成分是氧化鈣，我們对周口店的石灰分析的結果，氧化鈣約佔 62~75%，是碱性的氧化物。它有与酸性氧化物相結合的化学能。因此氧化鋁、氧化矽、氧化鈣，共同在水的参加作用下結合成新的物質，生成含有結晶水的矽酸鈣和鋁酸鈣以及氫氧化鈣等。这些物質并都結晶而硬化。用化学反应方程式来表达是这样的。



三、配合比的設計

少熟料水泥配制混凝土，在电力建設方面从前曾少量的使用过，并有总结材料。这次試制电杆时，主要是参考这项总结材料的数据。因为所用的原材料来源基本上相同，没有再从头作起的必要。

石灰掺入量对强度的影响

(原电力部北京基建局第四工程处“混合水泥试制
体会”中表C)

水泥:石灰	石灰掺入量%	石灰/水泥	水 灰 比	90°C24小时 抗压Kg/Cm ²
4:1.0	20.0	0.250	0.38	309.0
4:1.5	27.3	0.375	0.38	220.8
4:2.0	33.4	0.500	0.38	158.9
4:2.5	38.5	0.625	0.38	123.8
4:3.0	42.9	0.750	0.38	116.6

(原资料中表D)

水泥:石灰: 煤 灰	水泥:(石灰 + 煤 灰)	石灰掺入量%	石灰+煤灰 水泥	水灰比	90°C24小时 抗 压 Kg /Cm ²
4:1.0:5.0	4:6	10	1.5	0.38	265
4:1.5:4.5	4:6	15	1.5	0.38	251
4:2.0:4	4:6	20	1.5	0.38	246
4:2.5:3.5	4:6	25	1.5	0.38	226

(原资料中表F)

水泥:石灰:煤灰	掺合料/水泥	B/II	90°C24小时抗压 Kg/Cm ²
4:0:5.0	1.250	0.34	220
4:0:4.5	1.125	0.36	253
4:1.0:5.0	1.500	0.38	265

(原资料中表G)

水泥:石灰:煤灰:石膏	掺合料/水泥	B/II	90°C24小时抗 压Kg/Cm ²
40:10 5.0:0	1.50	0.38	265
3.5 1.0:5.0:0.5	1.86	0.38	34.5

(原資料中表H)

水泥:石灰:石膏:煤灰	摻合料/水泥	B/II	90°C24小时抗压Kg/Cm ²	90°C36小时抗压Kg/Cm ²
3.5:1.0:0.5:5.0	1.860	0.34	342	385
3.5:1.0:0:5.0	1.715	0.34	173	193
3.5:0:0.5:5.0	1.560	0.34	276	脆裂
3.5:0:0:5.0	1.425	0.34	199	260
3.5:1.0:0.5:5.0	1.860	0.38	304	—

根据这些試驗数据看出石灰用量以及石膏用量对淨漿試块强度的影响, 决定采用31.3:5.2:10.5:53的配合比例。表中說明石灰用量多或者水泥用量多都不一定有最高的强度, 煤灰用量多有时还比用量少的强度来得高, 这是煤灰中的活性氧化矽, 三氧化二鋁, 要能全部和氢氧化鈣相結合, 生成最多的矽酸鹽和鋁酸鹽的結晶水化物, 才是我們最理想的比例。

所用的混凝土配合比是1:1.79:3.24(无熟料水泥:砂子:石子), 强度試驗都在200号以上。离心式成型、蒸气养生后的强度沒有抗压, 但經過部件試驗的結果, 可以估算应是接近300号的。

我們采取的灰渣混凝土, 配合比为5:7:3:85(水泥:石灰:石膏:灰渣), 虽然制成的电杆部件經過試驗是符合要求的, 但杆的内部凹凸不平, 說明所用粒徑过大, 灰渣級配也应重新进行試驗, 現在这样資料还没有得到結果, 还在繼續試驗中。

四、試制煤灰少熟料电杆及灰渣电杆的工艺过程

电杆是圓形空心截面采用离心式成型生产。工艺过程与普通混凝土离心式生产方法相同, 应按照“鋼筋混凝土空心电杆操作, 質量, 维护暫行規程”进行。該規程系原电力部北京修

建厂编制。生产时可作参考。这里只对煤灰的要求以及与普通混凝土生产上不同的地方提出下列简要说明。

普通水泥的细度要求通过 4900 孔/公分² 的筛余量不大于 15%，石景山的粉煤灰筛余量仅为 6%。其他各地电站的粉煤灰也都符合这项要求。这是粉煤灰优于其他材料的一个主要方面，即在细度上不须再行加工。磨细加工是一项繁重的生产过程，水泥生产中它要占去不少的生产费用。

煤粉在炉膛中由于不完全燃烧，会留下一部分碳分遗留在灰中，这对活性是不利的。因为它能形成一层微薄的抗水性薄膜，妨碍着水泥的水化作用，使煤灰中的活性氧化矽和三氧化二铝等不能与石灰起化学反应。另外，煤灰中未燃烧的碳分能逐渐挥发氧化，变成气体，如果以含碳量较多的煤灰作为轻质混凝土的集料，由于氧化作用发生空隙，混凝土强度就要降低。煤粉如果得到较完全的燃烧，煤粉渣中遗留未燃烧的碳分很少，安定性就会良好。波兰工程师西蒙、普希包尔斯基曾提出含煤量在 7% 以下的灰，拿来生产多孔混凝土是较为合宜的。拿来作普通混凝土用的煤灰一般要求烧失量不超过 20%；最多不得超过 30%，但这种煤灰是否能够使用，应根据试验后方能确定。我们的意见在燃烧好的大电站，大多数含碳量都较小，石景山只为 2.4%，吉林只 1.88，其他烧失若在 10% 以下的为数则很多，少熟料水泥用的灰，含炭量应小于 10%。因为含碳量较高的灰利用它再发生热量，生产其它产品较为有利。减少灰中碳的含量也可借助增加空气量，或把煤磨得更细一些来达到，这就需与电站生产人员共同来研究了。

关于硫酐(SO_2)计算的硫酸盐含量不应超过 4%，石景山灰的历次分析中都低于这个数字，其他许多电站也能符合这项要求，如果煤中含硫量高也是完全可以改善的，那就是通过提

取的方法，减少含硫量。

三氧化二铝的要求含量应不低于15%，我国絕大多数电站多在20%以上，有的还在40%以上，只有个别的电站，含量在50%以下，使用时还須先行化驗，因为煤层的不同，含量是会变化的。所以化驗分析对任何煤灰來說都是极为必要的。

生产灰渣混凝土所用的灰渣有兩重用处：它是骨料，又起膠結材料作用。上海市建筑工程局提出下列試驗資料可供参考。

标准筛号,mm	累計通过, %	累計保留, %	級配情况
5	99.6	0.4	
2.5	91.4	8.6	
1.2	80.6	19.4	
0.6	64.0	36.0	
0.3	51.6	48.4	
0.15	34.2	65.8	
細度系数	1.786		
平均粒度	0.339		

(注：国家建委1957年5月号經驗报导第23頁表12)

由上表看到灰渣粒徑是很細的。我們为了將來便于生产，节省碾碎費用，曾用到1.5公分的粒徑，結果証明离心式成型的产品用这么大的粒徑是有問題的。第一，粒徑过大，它对石灰的吸收作用受到局限；第二由于它的質輕，离心成型的結果是大粒徑的灰渣都集中到杆的内部，造成高低不平。因此我們第二次試制时用的粒徑在1公分以下。配合比采用90公斤水泥，126公斤石灰，54公斤石膏，460公斤粉煤灰，1,070公斤煤渣。这样做成的混凝土單位重約为1,800公斤。

少熟料水泥混凝土及灰渣混凝土的攪拌調制的投料次序关系比較重要。应当是粗料先放进攪拌机，細料次之，膠凝材料又次之。第一次試制煤灰少熟料电杆时，先放了石灰，煤灰，水泥，石子，結果石灰煤灰粘結到攪拌机的內壁上，不易使之脫落与石子均匀拌和，因而作廢。所以改为下列的順序，生产时方为順利。

石子→水泥→熟化石灰→煤灰→石膏→砂子→水。在加入水时应均匀注入，以免細料凝成块狀，全部材料投入后，攪拌時間不得少于2分鐘。这里要明确一个問題，即熟化石灰有兩種用法，一为加水較少，熟化成粉末来使用，一为用水較多熟化成石灰膏。我們兩種都采用了，效果是相同的。我們覺得熟化石灰膏比較費事，攪拌时手續也較麻煩，但容易控制質量。因此还是建議采用石灰膏比較妥善。究竟那一种更好，还須摸索及在生产中得到驗證來說明，因为对这一点，我們之間的見解还是不一致的。

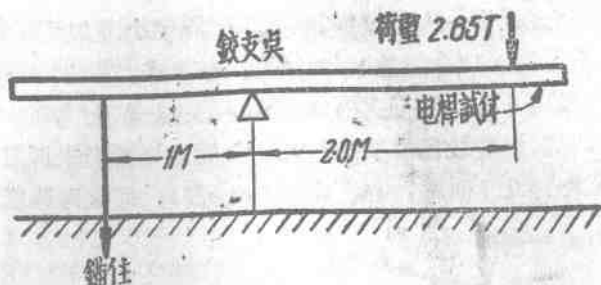
离心混凝土电杆的离心旋轉時間，按照操作規程是20分鐘。启动后在最慢的轉速下旋轉3分鐘，然后慢慢地升高經3分鐘达到最高轉速，快速旋轉为14分鐘。慢車起着再拌和并分布均匀的作用，快車产生离心压力，使混凝土密实。因此灰渣混凝土有延長慢車時間減短快車時間的必要，我們采用了慢車8分鐘，快車10分鐘的措施。

少熟料水泥混凝土和灰渣混凝土的蒸汽养护是得到矽酸鹽强度的重要环节。不少資料說明它对热效应的敏感性，北京建工局做的石灰水泥試驗在 100°C 的飽和蒸汽养生24小时可得到364的抗压标号，石灰烟灰水泥混凝土也得到238号的强度。但当蒸汽 380°C 时，强度則不足100号，蒸汽养护的時間及温度都是重要的因素，原电力部北京基建局在石景山扩建工程中也有

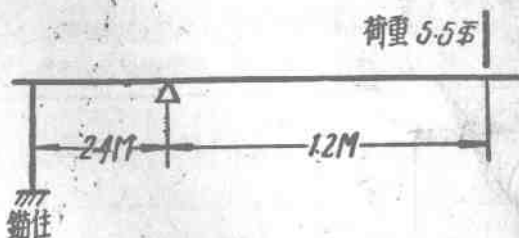
不少这方面的試驗記錄，也都說明了這個問題。但所有資料都說明以24小时的养护時間为合宜。同时有升温，等温及降温三个阶段，前面所說的24小时为等温時間。电杆的养生一般为三个阶段。第一次为帶模养生，我們采用12小时（試驗性的，为了將來生产，將再試帶模养生4~6小时的）；脱模起吊放进蒸汽养生池内进行12小时的养生；第三次則为露天堆放养生。这三段养生以第一次的帶模养生为最重要，如果帶模养生后，在起吊时不出現裂紋，則以后就不易再产生毛病了。飽和蒸汽的温度为 100°C ，升温及降温的时间極短。但多年的生产經驗說明：这对离心式生产的电杆还是适用的。二次蒸汽养生的意义現在看来不大，在鋼模增加的条件下，建議第一次帶模养生8小时，取消第二次蒸汽养生的措施。

五、电杆物理力学試驗及經濟效果

我們所說的电杆，是采用离心力攪拌制成的圓形空心截面的电杆，外徑30公分，內徑20公分，壁厚5公分，每公尺長自重約100公斤（灰渣电杆每公尺自重約为70公斤）、 $\Phi 12$ 公厘的3号鋼筋12根，其截面 $F_a = 1.131 \times 12 = 13.51$ 公分²。混凝土断面面积 $F = \frac{\pi}{4}(30^2 - 20^2) = 392$ 公分²，这样，从前电力部电力設計院所作的“110千伏送电綫路装配式鋼筋混凝土电杆直綫杆标准設計、技术設計及施工詳图”第一卷总論中查得容許弯矩为2.2吨公尺，部件試驗的結果到了4.6吨公尺。安全因数达到2.1。在4.6吨公尺弯矩值时，出現了裂紋八条，但每条寬度均不超过0.2公厘，破損时的弯矩值为5.7吨公尺，当时的撓度也小于跨距1/360。



煤渣混凝土电杆的抗弯试验



煤渣混凝土电杆也是采用离心式拌制成的圆形空心截面的电杆，外径30公分，内径22公分，壁厚4公分，配置长12的三号钢筋12根，其截面 $F_a = 13.51$ 公分²，混凝土断面积 $= F = \frac{\pi}{4} (30^2 - 22^2) = 326.6$ 公分²，设计破坏弯矩为4.51吨公尺。

试验结果得到电杆承受6.6吨公尺，弯矩下裂缝开展宽度达1.2公厘杆件尚未完全破坏，超过了设计破坏弯矩46.6%，同时也超过了煤灰混凝土电杆的抗弯强度，其主要原因是由于煤灰电杆壁厚为5公分，而煤渣混凝土电杆壁厚为4公分，厚度减小，钢筋位置相应地外移，增大了抗弯强度。

